Ueber die

Arbeitsvorräthe der Natur

und ihre Benutzung.

Von

Dr. Karl Zöppritz,
Professor in Gießen.

Berlin, 1870.

C. G. Lüderitz'sche Verlagsbuchhandlung.
A. Charisius.

Der überwiegende Theil der Menschheit ist zur Beschaffung seiner Lebensbedürfnisse auf mechanische Arbeit angewiesen, möge diese Arbeit nun durch die Hände oder durch Maschinen, im Kleinen oder im Großen geleistet werden. Es scheint deßhalb wohl gerechtfertigt, einmal über den mechanischen Begriff, über Ursprung und Herkunft der Arbeit zu reden.

Jeder Arbeiter in diesem weiteren Sinne glaubt, zu wissen, was Arbeit ist; denn ein Jeder hat das Bewußtsein, redlich seine Arbeit zu verrichten. Wenn aber Alle der Reihe nach, unabhängig von einander, eine Definition, eine Feststellung des Begriffs der Arbeit geben sollten, so würden vermuthlich außerordentlich verschiedene Ansichten zu Tage kommen und es würde keine leichte Aufgabe sein, das allen Gemeinsame herauszuschälen.

Diese Unbestimmtheit des Begriffs der Arbeit rührt daher, daß man im gewöhnlichen Sprachgebrauch bei dem Worte Arbeit viel mehr an das Nebensächliche, die begleitenden Umstände der Arbeit zu denken pflegt, als an diese selbst. Ein Frauenzimmer spricht von seiner Näharbeit oder Stickarbeit, Tagelöhner, welche eine Grube auswerfen, nennen das Emporheben der Erde ihre Arbeit, Bergleute, welche das Erz von den Wänden des Gesteins ablösen, nennen dieß ihre Arbeit; die Schmiedearbeit besteht im Emporheben des Hammers und der Spinner

an der Spinnmaschine arbeitet, indem er den Wagen herauszieht und hineindrückt; der Gebirgsbewohner, welcher den Dünger für seine Felder mühsam auf dem Rücken den Berg hinauftragen muß, nennt dieß den Haupttheil seiner Arbeit.

Was Jedem zunächst beim Ueberblicken dieser Beispiele auffällt, ist, daß alle die genannten Arbeiten mit körperlicher Anstrengung verbunden sind, daß sie ermüden. Der Nähterin und Stickerin ermüden die Finger, den Erdarbeitern und Bergleuten die Arme und das Kreuz, dem Schmied der den Hammer schwingende Arm, dem Spinner Bein- und Rückenmuskeln u. s. w. Trotzdem würde der sehr irren, welcher als allgemeinste Definition der Arbeit hinstellen wollte: Arbeit ist jede Thätigkeit des Körpers, welche mit Anstrengung oder Ermüdung verknüpft ist. Denken wir etwa an Arbeiter, die Wasser aus einer Grube schöpfen müssen. Wenn in der Nähe dieser Grube ein Wasserlauf vorüberführt, der das nöthige Gefälle hat, so kann derselbe zum Betrieb eines Schöpfrades benutzt werden, welches dasselbe leistet, was vorher den Tagelöhnern übertragen war. Es wird also dieselbe Arbeit geleistet, ohne daß irgend ein menschlicher Körper angestrengt wird. Fast überall läßt sich Menschenarbeit durch Maschinenarbeit ersetzen. Hieraus folgt, daß wir bei der Feststellung des Begriffs der Arbeit absehen müssen von der Rück-Wirkung derselben auf die ausführende Maschine, welche entweder der Mensch sein kann oder ein Thier oder eine Arbeitsmaschine im engeren Sinne des Worts. Vielmehr sind wir angewiesen auf eine nähere Betrachtung des mechanischen Vorgangs, des Erfolgs bei der Leistung einer Arbeit; dieser Erfolg ist nun aber bei dem zuletzt erwähnten Beispiel der, daß eine gewisse Quantität Wasser aus einem tieferen Niveau in ein höheres übergeführt, also um eine gewisse Höhe gehoben wird. Wenn die Hebung von Menschen vollbracht wird, so wissen wir alle,

daß deren Anstrengung um so größer ist, oder wenn sie durch eine Wasserhebemaschine besorgt wird, daß die Triebkraft, also das Gefälle, die Dampfmaschine u. s. w. um so bedeutender sein muß, je höher der obere Wasserspiegel über dem unteren liegt. Wir können deßhalb mit Recht sagen, die geleistete Arbeit in vorliegendem Beispiel wächst in demselben Maße wie die Höhe, auf welche die Wassermasse gehoben wird; der Art, daß die geleistete Arbeit die doppelte ist, wenn die Hubhöhe die doppelte ist, die dreifache, wenn die Hubhöhe die dreifache ist. Wem es etwa nicht ohne Weiteres einleuchten sollte, daß bei der Hebung einer bestimmten Wassermenge, z. B. eines Centners Wasser um 10' genau die doppelte Arbeit geleistet wird, wie bei einer Hebung um 5', der kann es sich leicht klar machen, wenn er sich denkt, der Arbeiter stehe dicht über dem unteren Wasserspiegel, und 5' über diesem sei auf einem Gestell ein Reservoir aufgestellt. Der Arbeiter hebt mit seinem Schöpfer durch wiederholtes Schöpfen den Centner Wasser in das Reservoir. Ist dieß geschehen, so hat er genau die Hälfte seiner Arbeit gethan. Denn er braucht sich jetzt nur auf das Gestell neben das Reservoir zu stellen und hat dann dieselbe Wassermasse um dieselbe Höhe, um die zweiten 5 Fuß zu heben, um seine ganze Arbeit zu vollenden. Mit anderen Worten, die Hebung einer bestimmten Wassermasse auf die Höhe von 10' ist die doppelte Arbeit, wie die Hebung derselben Masse um 5'.

Ich habe bisher nur Nachdruck auf die Höhe, d. h. den Abstand in senkrechter Richtung zwischen den beiden Wasserspiegeln gelegt. Es ist in der That leicht einzusehen, daß die Arbeit nur von dieser senkrechten Höhe abhängt und nicht von der Entfernung, um welche die gehobene Masse zur Seite bewegt wird.

Denken wir uns die Rinne, welche das gehobene Wasser abführt, quer über die Grube laufend, so ist es in der That

ganz einerlei, ob der Arbeiter gerade an dem Punkte des unteren Wasserspiegels schöpft, der senkrecht unter dem Punkte der Rinne liegt, an dem er ausgießt, oder ob er an einem näher oder weiter zur Seite gelegenen Punkte schöpft. Für den Effekt ist es ganz einerlei, wo er schöpft; seine Arbeit vermehrt sich weder, noch vermindert sie sich. Eine Vermehrung der Arbeit tritt erst in dem Augenblick ein, wo die Rinne höher über den unteren Wasserspiegel emporgehoben würde. Der menschliche Arbeiter wird sich den Weg, längs welchem er den Schöpfeimer aufwärts führt, so wählen, wie er ihm am bequemsten im Schwunge liegt. Bei einem Schöpfrad, welches in Eimern schöpft, die am Kranze des Rades befestigt sind, ist der Weg der Hebung ein Halbkreis.

Die bei einer Hebung geleistete Arbeit ist also unabhängig von dem Wege, auf dem die Last emporgeführt wird, nur abhängig von der senkrechten Hubhöhe.

Was charakterisirt nun aber die senkrechte Richtung vor allen übrigen? Jedes Kind weiß darauf zu antworten. Es ist die Lothlinie; die Richtung, welche ein schwerer Körper dem Faden ertheilt, an welchem er aufgehängt ist; die Richtung, in welcher ein frei fallender Körper sich abwärts bewegt; mit anderen Worten: Es ist die Richtung der Schwerkraft.

Die Schwere ist die anziehende Kraft, welche von der Erde auf alle Körper ausgeübt wird und vermöge welcher dieselben, wenn ihnen die Unterlage entzogen wird, sich nach dem Mittelpunkte der Erde hinbewegen in einer Richtung, die wir eben mit dem Worte senkrecht bezeichnen. Bei der Hebung einer Masse wird also die geleistete Arbeit gemessen durch die Strecke, um welche die Masse in der Richtung der Schwerkraft gehoben wird, und zwar richtiger gesagt, gegen die Richtung der Schwerkraft,

welche von oben nach unten wirkt, während die Hebung von unten nach oben stattfindet.

Die Arbeit besteht also darin, daß eine Masse gegen die Richtung der Schwerkraft um eine Strecke bewegt wird; daß die Schwerkraft längs einer gewissen Strecke überwunden wird. Und zwar wächst oder vermindert sich die Arbeit in demselben Maße, in welchem diese Strecke vergrößert oder verkleinert wird. Aber die Arbeit ist noch von einem zweiten Faktor abhängig, von der Masse, welche gehoben wird. Die Hebung von 2 Centnern Wasser auf dieselbe Höhe wie vorhin erfordert die doppelte Arbeit, welche ein Centner erfordert. Denn wenn ein Arbeiter dieß verrichten soll, so hebt er erst einen Centner und darauf den zweiten Centner, thut also hintereinander zweimal dieselbe Arbeit. Wir können demnach auch sagen, die Arbeit wächst in demselben Maße wie die gehobene Masse. Damit ist aber der mechanische Begriff der Arbeit schon so gut wie festgestellt. Die Arbeit, welche bei einer Hebung geleistet wird, ist nur abhängig von dem gehobenen Gewicht und der Hubhöhe und wächst in demselben Maße, in dem jeder dieser beiden Faktoren wächst, der Art, daß wenn bei einer Arbeitsleistung z. B. das 3fache Gewicht 4mal so hoch gehoben wird als bei einer anderen, die erste Arbeit wegen des 3fachen Gewichtes 3mal, wegen der 4fachen Höhe weitere 4mal, im Ganzen also 3mal 4mal, also 12mal so groß ist als die Zweite.

Es bleibt jetzt nur noch übrig, eine gewisse Arbeitsleistung festzusetzen, durch welche alle übrigen gemessen werden sollen. Denn wie alle Längen durch eine bestimmte Einheit, den Fuß oder Meter, alle Gewichte durch das Pfund oder Kilogramm gemessen, d. h. ausgedrückt werden, so wird es nöthig sein, alle Arbeiten durch eine Einheit auszudrücken. Es liegt nun sehr nahe, zur Einheit der Arbeit diejenige zu wählen, wobei die Ge-

wichtseinheit um die Längeneinheit gehoben wird, also nach unserem Maßsystem als Arbeitseinheit diejenige zu wählen, wobei ein Pfund einen Fuß hoch gehoben wird. Diese Arbeitseinheit nennt man ein Fußpfund und drückt dann jede Arbeits-Leistung in Fußpfunden ebenso aus, wie das Gewicht eines Körpers in Pfunden, oder wie die Länge einer Linie in Fußen. Nach dem neufranzösischen Maßsystem, welches in wenigen Jahren auch das allgemeine deutsche sein wird, ist die Arbeitseinheit die, welche der Hebung von 1 Kilogramm um 1 Meter entspricht. Sie wird Meterkilogramm genannt. Wenn nun eine Last von $5^{\text{kil.}}$ einen Meter hoch gehoben wird, so ist die Arbeit = $5^{\text{mkil.}}$, und wenn diese $5^{\text{kil.}}$ $7^{\text{m.}}$ hoch gehoben werden sollen, so ist die Arbeit 7mal so groß, also $7 \times 5 = 35^{\text{mkil.}}$ und es wird Niemanden mehr unverständlich sein, wenn ich sage, man erhält die Arbeit, ausgedrückt in Meterkilogramm, wenn man die Zahl der gehobenen Kilogramme multiplicirt mit der Zahl der Meter, um welche sie gehoben worden sind. In der Sprache der Mechanik lautet diese Definition der Arbeit:

Die Arbeit ist das Produkt aus dem Gewicht in die Hubhöhe.

Daraus ergeben sich nun allerlei einfache Folgen, z. B. daß ein Arbeiter, der 1 Pfund 100 Fuß hoch zu heben hat, genau dieselbe Arbeit leistet, wie einer der 100 Pfund einen Fuß hoch hebt, denn $1 . 100 = 100 . 1$. Wir können ferner sofort feststellen, wie sich die beiden Arbeitseinheiten, das Fußpfund und Meterkilogramm zu einander verhalten; da $1^{\text{m.}} = 3\frac{1}{5}$ rhl. Fuß und $1^{\text{kil.}} = 2$ Pf., so ist $1^{\text{mkil.}} = 2 . 3\frac{1}{5} = 6\frac{2}{5}$ rhl. Fußpfund.

Ein großer Theil der Leser wird vielleicht noch niemals eine Arbeit in Fußpfund oder Meterkilogramm haben ausdrücken hören. Vielmehr ist im gewöhnlichen Leben ein anderes Arbeitsmaß gebräuchlich, welches sich in jeder Beziehung durch seine

Unzweckmäßigkeit auszeichnet und nach und nach ganz abkommen wird: ich meine die Bezeichnung der Leistungen in Pferdekräften. Es ist sehr begreiflich, daß zur Zeit als die Menschheit begann, die thierischen Triebkräfte durch Maschinen zu ersetzen, also durch Wasserräder, Dampfmaschinen u. s. w., daß man da die Leistungen der Letzteren zunächst verglich mit derjenigen der bisher gebräuchlichsten Motoren. Da als solche hauptsächlich Pferde Dienst leisten mußten, so verglich man die Leistung der Maschine mit derjenigen eines Pferdes, und sagte also, die Maschine leistet so und soviel mal mehr als ein Pferd, hat demnach so und so viel Pferdekräfte; so entstand dieses Arbeitsmaß. Es springt aber Jedem in die Augen, wie unsicher dieses Maß ist, denn gewiß gibt es eben so wenig 2 genau gleich starke Pferde, als es 2 gleich starke Menschen, als es überhaupt 2 gleiche Organismen in der Natur gibt. Die Kraft welches Pferdes soll nun die Arbeitseinheit sein? Von unserem gewonnenen Standpunkt zumal muß jeder Versuch zurückgewiesen werden, eine Arbeit durch die Anstrengung des leistenden Thieres u. s. w. zu bestimmen, denn wir haben ja gesehen, daß die Arbeit ganz unabhängig ist von der sie leistenden Maschine und nur durch ihr Resultat gemessen wird; wir können deßhalb wohl die Anstrengung eines Thieres durch die Arbeit messen, die es vollbracht hat, aber nicht umgekehrt die Arbeit durch die Kraft des Thieres. Der Grund, warum der Ausdruck Pferdekraft noch immer sein Dasein fristet, ist der, daß man dem ursprünglich so unbestimmten Begriffe eine bestimmte mechanische Bedeutung unterlegt hat, d. h. festgesetzt hat, daß eine Pferdekraft die Arbeit von $75^{\text{mkil.}}$ bedeuten soll. Wenn man also die Leistung einer Maschine in Pferdekräften kennt, so braucht man diese Zahl nur mit 75 zu multipliciren, um dieselbe in Meterkilogramm zu kennen; in Fußpfund ausgedrückt ist die Pferdekraft $= 6\frac{2}{5} \cdot 75 = 480$ Fußpfund.

Die bisherigen Auseinandersetzungen bezogen sich nur auf eine ganz bestimmte Art der Arbeit, nämlich die Hebung von Lasten, die Ueberwindung der Schwerkraft. Bei weitem der größte Theil aller Handwerke und Fabrikationszweige hat aber Arbeit ganz anderer Art zu leisten. Ich kann diese Art der Arbeit ganz im Allgemeinen bezeichnen, wenn ich sage, es handelt sich darum, den von der Natur geschaffenen Zusammenhang zwischen den einzelnen Theilchen von Stoffen zu lockern, zu lösen und neue Form, neue Gruppirung, neuen Zusammenhang herzustellen, in welchen die Stoffe dann dem direkten Bedürfniß, der Bequemlichkeit des Menschen dienlich sind. Beispiele werden dieß erläutern. Die Arbeit des Holzhackers besteht darin, daß das natürlich gewachsene Holz aus seinem Zusammenhange gelöst und in geeignete Handstücke zerlegt wird. In ähnlicher Weise trennt der Bergmann das Erz vermöge Hammer und Schlegel aus der Verbindung mit dem Muttergestein. Der Schreiner, der Schlosser, der Dreher, Töpfer, Goldarbeiter und viele andere Gewerbe haben gleichfalls zum größeren Theil die Aufgabe, von gegebenen Blöcken des Rohmaterials, also des Holzes, des Metalls u. s. w. durch Säge, Meißel, Hobel, Feile soviel abzutrennen, daß das übrig bleibende Stück eine zum Gebrauch geeignete Form erhält, während wieder andere Handwerke diese geeignete Form nicht durch Abtrennen von Material, sondern durch gewaltsame Verschiebung der Theile des Stoffs gegeneinander, also z. B. durch Hämmern wie der Schmied, durch Kneten wie der Bäcker, durch Strecken u. s. w. hervorbringen. Bei anderen Gewerben, wie z. B. dem Spinner- und Webergewerbe, ist die Reihe der vorkommenden Arbeiten eine manichfaltigere, dagegen aber sind die zu überwindenden Kräfte keine so großen.

Wenn ich, wie soeben, von zu überwindenden Kräften spreche,

so habe ich damit schon das Verbindungsglied genannt, wodurch der Zusammenhang zwischen dieser zweiten Klasse von Arbeiten und der zuerst betrachteten einfachsten Arbeit, der Hebung eines Gewichtes, hergestellt wird. Wie bei der Hebung die Schwerkraft überwunden werden muß, so müssen auch bei allen den in zweiter Linie genannten Arbeiten Kräfte überwunden werden; nur sind diese Kräfte andere als die Schwerkraft.

Wir haben es hier mit einer sehr allgemeinen Klasse von Kräften zu thun, mit den Kräften, welche die Materie überhaupt zusammen halten, den sog. Kohäsionskräften. Denken wir uns durch einen beliebigen Körper z. B. einen Stein einen Schnitt gelegt, so müssen zwischen den Körpertheilchen, die rechts von dem Schnitte liegen und denen, die links davon liegen, im natürlichen Zustande gewisse anziehende Kräfte herrschen; denn wenn dies nicht der Fall wäre, so müßte ja bei der geringsten Erschütterung der Körper längs dieser Fläche in 2 Theile auseinander fallen; und zwar müßte dies für jede beliebige Lage des gedachten Schnitts stattfinden; mit anderen Worten, der Körper müßte bei jeder Erschütterung nach allen Richtungen hin auseinander fallen wie Staub, wenn die Theilchen desselben nicht durch Kräfte, die zwischen den ganz benachbarten wirken, in ihrer natürlichen Lage zusammengehalten würden. Das Vorhandensein dieser Kräfte schließt man nicht nur aus der eben angeführten Betrachtung, die aus dem Nichtzerfallen der Körper die Kräfte folgert, sondern die Wirkung der Letzteren läßt sich ganz direkt zeigen. Am auffallendsten an den sogenannten elastischen Körpern, wie Gummi, Kautschuk u. s. w., welche die Eigenthümlichkeit haben, sich stark ausdehnen zu lassen und dann, wenn die darauf wirkenden äußeren Kräfte aufhören, wieder in ihre frühere Form zurückzugehen. Diese Eigenschaft zeigen aber alle Körper in mehr oder weniger hohem Grade. Nehmen wir einen

Draht von beliebigem Metall, Eisen, Messing, Kupfer oder Silber, klemmen ihn am oberen Ende fest, strecken ihn durch ein Gewicht, daß er gerade hängt und messen seine Länge. Nunmehr fügen wir unten ein bedeutenderes Gewicht zu, so werden wir den Draht sich verlängern sehen; und zwar umsomehr, je größer das angehängte Gewicht ist. Sobald man dieses wieder wegnimmt, geht der Draht auf seine frühere Länge zurück. Daß der von dem angehängten Gewicht ausgeübte Zug die Ursache der Verlängerung des Drahtes ist, darüber kann kein Zweifel bestehn; die Ursache der Wiederverkürzung, also der rückgängigen Bewegung können aber nur die Kohäsionskräfte zwischen den einzelnen Schichten des Drahtes sein. Denken wir uns den Draht durch lauter sehr nahe Querschnitte in sehr dünne Schichten zerlegt, so wird jede Schicht von der vorhergehenden und der nachfolgenden durch die Kohäsionskraft festgehalten, resp. angezogen; wenn nun an die unterste Schicht ein Gewicht befestigt wird, so sucht dessen Wirkung die unterste Schicht von der zweituntersten zu entfernen und würde sie losreißen, wenn nicht die Kohäsionskraft die Schicht festhielte. Das Resultat wird sein, daß es der Schwere gelingt, die erste Schicht von der zweiten etwas zu entfernen; dann hängt aber die ganze Last an der zweiten Schicht und entfernt diese von der dritten, dadurch wird die dritte von der vierten abgezogen u. s. w. bis zum Aufhängepunkt des Drahtes. Es wird also jede Schicht des Drahtes von der folgenden um ein Geringes entfernt und das Gesammtresultat dieser Einzelvorgänge stellt sich in der sichtbaren Verlängerung des Drahtes dar. Die Vermehrung der Abstände zwischen den einzelnen Schichten des Drahtes können wir nicht wahrnehmen, denn diese Abstände selbst sind unseren Sinnen auch mit Zuhülfenahme der feinsten Instrumente nicht wahrnehmbar. Selbst durch ein 10,000 mal vergrößerndes Mikroskop läßt sich nicht erkennen,

daß die Körper, z. B. die Metalle aus von einander getrennten Theilchen bestehn. Die Physiker schließen vielmehr umgekehrt aus der Möglichkeit, die Körper auszudehnen und zusammenzudrücken, auf das räumliche Getrenntsein ihrer kleinsten Theilchen. Aus dem Versuche mit der Dehnung des Drahtes kann man aber einen wichtigen Schluß ziehen über die Wirkungsweise der Kohäsionskräfte. Diese Kräfte, die man auch elastische Kräfte nennt, oder Elasticitätskräfte, müssen um so stärker sein, je weiter die Theilchen, zwischen denen sie wirken, von einander entfernt werden. Betrachten wir irgend einen Querschnitt des Drahtes. Wenn das angehängte Gewicht genügt hat, die elastischen Kräfte zu überwinden und die vorhergehende Schicht von der folgenden um ein Stückchen zu trennen, so würde, wenn in der neuen Lage die Elasticitätskräfte nicht größer wären als in der natürlichen Lage, die Schwere des Gewichtes dieselben abermals überwinden und die Entfernung noch weiter vergrößern. Man muß daraus, daß diese Vergrößerung nicht eintritt, schließen; daß in der vergrößerten Entfernung der Schichten die Anziehungskräfte auch gewachsen sind; mit anderen Worten, daß die elastischen Kräfte um so bedeutender werden, je weiter die Theilchen der Körper aus ihrer natürlichen Lage entfernt werden. Bei der Dehnung des Drahtes durch ein Gewicht nimmt die Dehnung zu, bis die Summe der durch Entfernung der Querschnitte wachsenden Elasticitätskräfte gerade gleich geworden ist der in dem Gewichte ihren Sitz habenden Schwerkraft. Es findet dann Gleichgewicht der Kräfte statt. Sobald nun aber das Gewicht weggenommen wird, haben die nach oben ziehenden Kräfte die Oberhand und ziehen die Drahtschicht wieder empor. Die Drahtschichten folgen diesem Zuge so lange, als dieser vorhanden ist, d. h. so lange die Kräfte noch Werthe haben. Letztere werden aber, wie wir sahen, um so kleiner, je mehr sich die

Theilchen ihrer natürlichen Lage wieder nähern. Haben sie diese Lage wieder erreicht, so bleiben sie in Ruhe, und wir schließen daraus, daß in der natürlichen Lage die Kräfte = 0 sind; denn wenn sie noch wirkten, so würden ihnen die Körpertheilchen auch noch weiter folgen und könnten nicht in Ruhe bleiben. Ich kann also jetzt eine früher gebrauchte Ausdrucksweise verbessern und sagen: Im natürlichen Zustande der Körper wirken keinerlei Kräfte zwischen dessen einzelnen Theilchen, dieselben werden aber sogleich wach, wenn die Entfernung zwischen den Theilchen vergrößert wird. Aus diesem Grunde kann ein Körper nicht in Staub zerfallen, weil bei der geringsten Entfernung der Theilchen von einander die Kohäsionskräfte sie wieder zusammenführen.

Eine ganz ähnliche Kraft, wie sie sich der Ausdehnung der Körper entgegensetzt, wird auch durch deren Zusammendrückung geweckt. Alle Körper setzen der Zusammendrückung einen Widerstand entgegen, welcher mit dem Grade der Zusammendrückung wächst. Trotzdem sind alle Körper einigermaßen zusammendrückbar. Führt man mit dem eisernen Hammer einen Schlag auf den Ambos, so wird die Masse des letzteren unter der Macht des Schlages etwas zusammengedrückt und schnellt, sobald der Schlag vollendet ist, wieder in ihre frühere Lage zurück. Dieses Zurückschnellen unter dem Einfluß der erweckten elastischen Kraft zeigt sich unsern Sinnen sehr deutlich darin, daß der Hammer nach dem Schlag mitemporgeschnellt wird; er prallt zurück. Die luftförmigen Körper sind einer sehr bedeutenden Zusammendrückung fähig und an ihnen läßt sich daher am besten das Gesetz studiren, nach welchem die Kräfte, welche sich ihr widersetzen, wirken; man nennt hier diese Kräfte Spannkräfte.

Denken wir uns eine Quantität Gas in einem senkrecht stehenden mit Boden versehenen Cylinder durch einen anschließen-

den Kolben abgeschlossen. Der aufgesetzte Kolben, den wir uns als gewichtlos denken wollen, wird nicht einsinken. Beschwert man ihn nun mit 5 Pfund, so sinkt er ein, indem die darunter befindliche Luft zusammengepreßt wird; wir wollen annehmen, er sinke um 4 Zoll. Legt man nun weitere 5 Pfund auf den Kolben, so wird derselbe nicht um weitere 4 Zoll einsinken, sondern um weniger. Dieß ist ein Zeichen, daß mit der Zusammendrückung, also mit der Verminderung der gegenseitigen Entfernungen der Theilchen des Gases die entstehenden Spannkräfte wachsen. Man müßte ein größeres Gewicht als 5 Pfund, vielleicht 8 Pfund zufügen, um den Kolben um weitere 4 Zoll hinabzudrücken. Die hier auftretenden Kräfte sind also von ganz derselben Natur wie diejenigen, die sich der Ausdehnung der Körper widersetzen; man faßt deßhalb beide Arten von Kräften unter dem Namen der elastischen Kräfte zusammen und findet ihre Haupteigenschaft darin, daß sie im natürlichen Zustand der Körper = 0, d. h. nicht vorhanden sind, daß sie aber bei jeder Zustandsveränderung entstehen und um so größer werden, je weiter die Theilchen aus ihrer natürlichen Lage herausgebracht werden, mag nun dieß Herausbringen eine Näherung der Theilchen, wie bei Zusammendrückung, oder eine Entfernung derselben, wie bei Ausdehnung, sein. Doch muß ich einen Unterschied hervorheben. Die Ausdehnbarkeit der Körper hat eine Gränze. Es leuchtet auf den ersten Blick ein, daß das Gesetz, welches ich oben bei der Ausdehnung des Drahtes aufgestellt habe, nur mit einer gewissen Beschränkung gilt. Dieß Gesetz sagte: die elastische Kraft wird um so größer, je weiter die Theilchen (beim Draht die Querschnitte) von einander entfernt werden. Daraus könnte man den Schluß ziehen, daß, wenn ich den Draht in zwei Stücke schneide, und die beiden Stücke von einander entferne, diese beiden Schnittflächen sich gegenseitig anziehen und zwar

um so stärker, je weiter ich sie von einander entferne; was bekanntlich der Erfahrung zuwider ist. Dieß ausgesprochene Wirkungsgesetz erleidet also eine Beschränkung. Die Kohäsionskräfte wirken nur zwischen den Theilchen in ihrem natürlichen Zusammenhang, oder wie wir uns genauer ausdrücken können, sie wirken nur zwischen den Theilchen, die sich in unmeßbar kleiner Entfernung von einander befinden; sobald diese Entfernung eine wahrnehmbare wird, d. h. sobald wir einen Zwischenraum zwischen einem Theil des Körpers und einem anderen wahrnehmen können, ist längs der Trennungsfläche die Möglichkeit beider Theile, aufeinander zu wirken, schon aufgehoben. Es wirken diese Kräfte nur bei sehr inniger Berührung. Man kann also sagen, die Wirkungssphäre der Kohäsionskräfte ist eine unmeßbar kleine, und wenn die Theilchen in eine Entfernung gebracht werden, wo sie außerhalb ihrer gegenseitigen Wirkungssphäre liegen, so wird der Zusammenhang aufgehoben. Man nennt diese Gränze die Elasticitätsgränze und sagt also, wenn ein Körper über seine Elasticitätsgränze ausgedehnt wird, so kehren die Theilchen nicht in ihre natürliche Gleichgewichtslage zurück, sondern reißen entweder auseinander, oder nehmen neue Gleichgewichtslagen an. Nur die Gase können ins Unbegränzte ausgedehnt werden. Bei einigen von diesen hat dagegen die Zusammendrückbarkeit gewisse Gränzen. Die Kohlensäure z. B., welche einen Theil der Luft, die wir ausathmen, bildet, fängt an, wenn der Druck, der sie zusammenpreßt, eine gewisse Höhe erreicht hat, flüssig zu werden, sich zu kondensiren. Bei den Dämpfen ist dieß sehr bekannt. Das Wasser verwandelt sich bei 100° C. = 80° R. in Dampf und oberhalb dieser Temperatur verhält sich der Dampf gerade wie ein Gas, wie die Luft z. B. Hat man aber ein Dampfquantum in einem Cylinder durch einen Kolben abgeschlossen, so kann

man, ohne die Temperatur, die wir zu 110° C. annehmen wollen, zu erniedrigen, durch bloße Zusammendrückung, indem man den Kolben mit einem Gewicht beschwert, den Dampf wieder in Wasser zurückverwandeln. Mit anderen Worten: bei höherem Druck bleibt das Wasser bis zu einer höheren Temperatur flüssig. Alle festen Körper und viele Flüssigkeiten lassen sich durch beliebig große Druckkräfte zusammenpressen, ohne daß sie in ihrer Konstitution eine Aenderung erleiden, aber ihr Rauminhalt wird durch die ungeheuersten Druckkräfte nicht bedeutend verkleinert.

Nachdem wir die Natur der Zusammenhangskräfte der Körper kennen gelernt haben, können wir nun auch die Arbeiten beurtheilen, welche bei den Thätigkeiten geleistet werden müssen, wo dieser Zusammenhang geändert wird. Die meisten Handwerke und Gewerbe haben eine Lösung des natürlichen Zusammenhangs zum Zweck. In einfachster Weise z. B. das Holzspalten und das Steineklopfen, aber auch das Sägen und Hobeln des Schreiners, das Feilen und Drehen des Schlossers und Drechslers, das Schneiden des Schneiders und Schuhmachers u. s. w. Bei allen diesen Trennungen des natürlichen Zusammenhangs, einerlei durch welche Mittel sie bewerkstelligt werden mögen, durch Säge, Axt, Feile, Scheere, Meißel, ist der Vorgang der: Die Theilchen, welche auf beiden Seiten der Trennungsfläche liegen, werden erst wenig, dann immer mehr von einander entfernt und hierbei leisten die elastischen Kräfte einen immer wachsenden Widerstand, bis die Entfernung die Elasticitätsgränze erreicht hat. In diesem Augenblicke sind die beiden Flächen außerhalb des Bereichs ihrer gegenseitigen Wirkung getreten und die Trennung ist vollendet. Wenn wir uns den einen Theil des Körpers fest denken, den andern beweglich wie den abfallenden Hobel- oder Feilspahn, so bestand also die Arbeit darin, daß eine

Masse, auf welche die Kohäsionskraft wirkte, gegen die Richtung dieser Kraft um eine gewisse, hier allerdings unmeßbar kleine Strecke bewegt wurde. Diejenigen Gewerbe, welche es mit einer Arbeit gegen die andere Klasse der Kohäsionskräfte zu thun haben, gegen die Kräfte, die sich der Zusammendrückung widersetzen, sind allerdings gering an Zahl, es gehört z. B. das Teigkneten und Aehnliches hierher. Doch läßt sich ein viel einfacher und belehrender Fall anführen. In manchen Städten hat man sogenanntes transportabeles Gas. Es wird in England zur Beleuchtung der Eisenbahnwagen, z. B. auf der unterirdischen Eisenbahn in London angewandt. Längs der Mitte des Wagendaches liegt da ein starker Schlauch, der das Gas in sehr komprimirtem Zustand enthält und durch die Brenner entweichen läßt. Diese Schläuche werden erneuert, sobald sie fast geleert sind. Der Arbeiter oder die Maschine, welche das Gas auf Vorrath in die Schläuche preßt, hat eine Arbeit gegen die Spannkraft des Gases zu verrichten, welche sich der Annäherung der Gastheilchen widersetzt. Auch hier werden also die Theilchen, von welchen die Kräfte ausgehen, gegen die Richtung dieser Kräfte verschoben.

Hierin liegt nun das gemeinschaftliche Band aller Arten von Arbeiten, die wir haben und die überhaupt denkbar sind. Auch bei der Hebung wird der Angriffspunkt der Schwerkraft, d. i. die Masse des gehobenen Körpers, gegen die Richtung dieser Kraft bewegt. Wir können somit den Begriff der Arbeit so feststellen:

> Arbeit wird jedesmal geleistet, wenn eine Masse, die den Angriffspunkt einer Kraft bildet, gegen die Richtung dieser Kraft bewegt wird; und zwar nennen wir, wie ich vorher bei der Hebung auseinandergesetzt habe, Arbeit das Produkt aus der Kraft in die Wegstrecke, um welche deren Angriffspunkt gegen sie bewegt worden ist.

Bei der Hebung ist diese Kraft das Gewicht des Körpers und wir messen überhaupt alle Kräfte durch die Schwerkraft, indem wir die Wirkung der Kräfte vergleichen mit der Wirkung, welche die Schwerkraft an demselben Körper hervorbringen würde.

Die Arbeiten, welche gegen elastische Kräfte geleistet werden lassen sich nicht so direkt auf dieselbe Weise messen, wie die bei der Hebung, denn wir können weder die Kräfte selbst messen, noch auch die Größen des Wegs angeben, um welche ihre Angriffspunkte fortgerückt werden, denn diese Wegstrecken sind ja unmeßbar klein, die Kräfte dagegen sehr groß. Trotzdem lassen sich die Arbeiten bestimmen und ich werde nachher darauf zurückkommen.

Nach dieser genauen Feststellung des Begriffs der Arbeit kann ich übergehn zu dem Satze über die Arbeit, dessen allseitige Darlegung eigentlich mein Hauptzweck ist. Er heißt:

> Arbeitsgrößen sind zwar wandelbare, aber unvergängliche Objekte; oder: es ist nicht möglich, Arbeit aus Nichts zu schaffen, noch auch einen Arbeitsvorrath zu vernichten, sondern es kann höchstens eine Arbeit in eine andere gleichwerthige umgesetzt werden.

Wem der Satz in seiner allgemeinen Fassung nicht ganz verständlich sein sollte, dem wird er wahrscheinlich an Beispielen rasch klar werden, denn er spricht etwas aus, was Jeder eigentlich weiß. Ich will einige sehr gewöhnliche Wahrheiten hinstellen, welche weiter nichts sind als Specialisirungen des allgemeinen Satzes: Kein Müller kann mahlen ohne Gefälle, keine Windmühle geht ohne Wind, keine Dampfmaschine ohne Brennmaterial, kein Mensch und kein Thier kann ohne Nahrung zu nehmen arbeiten. Wir wollen wieder durch die Betrachtung solcher einzelner allgemein bekannter Fälle und durch Aufsuchen

des Gemeinschaftlichen in ihnen, uns zur Allgemeinheit des ausgesprochenen Gesetzes zu erheben suchen.

Alle Gewerbe, welche als Triebkraft das Wasser benutzen, sind im Stande dadurch ihre Arbeit zu leisten, daß sie den Fall einer bestimmten Wassermasse um eine gewisse Höhe, das sogenannte Gefälle benutzen, um ihre Triebmaschine in Gang zu setzen. Da die einfachsten Fälle in der Regel die lehrreichsten sind, so will ich auch hier wieder voraussetzen, die auszuführende Arbeit bestehe in einer Hebung, also z. B. im Wasserschöpfen aus einer Grube. Die Hubhöhe sei gerade so groß wie das Gefälle, welches das Rad treibt, z. B. = 10′. Die Rinne, welche das Triebwasser herbeiführt, liefere jede Sekunde 100 Pfund Wasser. Alsdann läßt sich auf der Stelle einsehen, wie viel Wasser die Maschine in 1 Sekunde im höchsten Falle heben kann: höchstens 100 Pfund. Um das einzusehen, braucht man sich die Hebevorrichtung nur in der Weise zu denken, daß an den Enden eines über eine Rolle geführten Seils zwei gleiche Eimer befestigt sind, wovon der eine durch das Aufschlagwasser gefüllt wird und durch sein Niedersinken bis zum Niveau des Abwassers die Hebung des andern bewirkt. Unter der Voraussetzung, daß die Rolle ohne Reibung drehbar sei, wird ein Tropfen Uebergewicht den ersten Eimer zum Sinken bringen, wodurch dann der zweite um dieselbe Höhe, die ich gleich 10′ angenommen habe, steigt. Wenn also in jeder Sekunde der erste Eimer einmal mit 100 Pfund Wasser gefüllt wird, so kann er in jeder Sekunde einmal den andern, ebenfalls mit 100 Pfund gefüllten Eimer um 10′ emporheben, also höchstens 1000 Fußpfund Arbeit leisten. Mehr als diese Arbeitsmenge kann aber bei dem gegebenen Gefälle durch keine irgendwie konstruirte Maschine erreicht werden. Denn wenn es bei irgend einer Einrichtung möglich wäre, *mehr* zu leisten, z. B. 101 Pfund 10′ hoch

zu heben, so könnte diese Maschine sich ihr Triebwasser selbst pumpen. Wenn sie also am Rande eines unerschöpflichen Wasserbehälters, z. B. des Meeres, aufgestellt wäre, so könnte sie nach und nach ihre Triebkraft ins Unbegränzte vermehren, indem sie auf je 100 Pfund Wasser, die durch das Gefälle zum Seespiegel hinabsinken, immer 101 Pfund heben könnte, also mit der Zeit einen unendlich großen Arbeitsvorrath aufspeichern und dadurch unbegränzte Nutzeffekte erzielen würde. Das ist aber ein Unding. Die Gränze des Möglichen wird eben dadurch bezeichnet, daß durch Sinken einer bestimmten Quantität Wasser um eine gewisse Höhe eine gleiche Masse um dieselbe Höhe gehoben werden kann; ein Resultat, das in der Praxis wegen der Reibungswiderstände niemals vollständig erreicht werden wird.

Wenn wir die eben ausgesprochene Thatsache umdrehen, so können wir sagen:

Um eine bestimmte Arbeit zu leisten, muß immer eine gleich große Arbeit verzehrt, konsumirt werden.

Was ich unter Arbeitsverzehrung, Arbeitsaufwand verstehe, ist ganz klar. Wenn bei der Hebung eines Gewichtes von 5 Pfund um 6 Fuß eine Arbeit von 30 Fußpfund geleistet wird, so wird durch Senkung desselben Gewichtes um dieselbe Höhe eine eben so große Arbeit verzehrt, aufgewendet.

Von dem vorhin ausgesprochenen allgemeinen Satze, daß Arbeit niemals aus Nichts erschaffen, sondern nur umgewandelt werden kann, habe ich also schon einen Theil bewiesen, indem ich gezeigt habe, daß um Arbeit zu leisten eine gleichwerthige Arbeit verzehrt werden muß. Es muß in unsrem Falle ein Aufschlagwasser vorhanden sein, d. h. eine Wassermasse in einem höheren Niveau. Aber um diese Bach- und Flußwasser in das höhere Niveau zu bringen, ist auch eine Arbeitsleistung nöthig gewesen, denn das Wasser fließt nicht von selbst den Berg

hinauf. Wir wissen, diese Wasser verdanken ihren Ursprung dem atmosphärischen Niederschlag, dem Regen, Schnee und Thau. Die atmosphärischen Erscheinungen, großentheils durch den Wind bedingt, leisten die Arbeit, welche nöthig ist, um unserer Industrie die Wasser, die Gefälle hinaufzupumpen. Wie dieß geschieht, davon werde ich in der Folge Gelegenheit haben zu sprechen. Für jetzt ist es mir hauptsächlich wichtig, festgestellt zu haben, daß die Quellen, Bäche, Flüsse u. s. w. Arbeitsvorräthe enthalten, welche durch natürliche Agentien aufgespeichert worden sind, und welche der Mensch in andere Arbeit umsetzen kann, indem er einen Theil derselben konsumirt.

Ich habe den Satz von der Unzerstörbarkeit der Arbeit bisher nur für Arbeit gegen die Schwerkraft beleuchtet. Die Ausdehnung läßt sich nun auf der Stelle machen. Unzählige Gewerbe setzen den Arbeitsvorrath eines Gefälles in Arbeit gegen die Kohäsionskräfte um; vielleicht am einfachsten eine Sägemühle, in welcher der Zusammenhang zwischen den Theilchen des Holzes theilweise aufgehoben wird. Ich kann aber noch viel näher liegende Beispiele aus dem Leben nehmen. Wer einen Stein zertrümmern will, muß eine Arbeit gegen die elastischen Kräfte leisten. Um diese zu leisten, hebt man den Stein am einfachsten möglichst hoch in die Höhe und läßt ihn auf eine harte Unterlage z. B. auf das Pflaster herabfallen. Wenn der Stein nicht zu fest ist, wird er zerspringen, d. h. die Arbeit, welche der Mensch geleistet hat, indem er den Stein hob, und die in dem gehobenen Stein als Vorrath vorhanden ist, wird im Herabstürzen auf das Pflaster konsumirt und in Arbeit gegen diejenigen Kräfte umgesetzt, welche die Bruchstücke des Steins vorher zusammengehalten hatten. Ist der Stein sehr hart, d. h. sind die Zusammenhangskräfte sehr groß, so muß man den Stein sehr hoch herabfallen lassen, man muß ihn erst hoch hinauftragen oder emporwerfen,

um ihm eine größere Fallhöhe zu verschaffen; mechanisch ausgedrückt, man muß ihm einen größeren Arbeitsvorrath ertheilen, um die größere Arbeit gegen die Zusammenhangskräfte leisten zu können. — Man kann, wie Jeder weiß, dieselbe Arbeit auch noch auf andere Art leisten, indem man auf den zu zertrümmernden Stein einen anderen schweren, härteren Körper auffallen läßt. Dieser letztere muß die Eigenschaft haben, daß seine Kohäsionskräfte größer sind, als die des zu zertrümmernden. Ferner aber wählt man ihn so, daß man recht viel Arbeit in ihm aufspeichern kann, ohne ihn allzuhoch zu heben; da die Arbeit das Produkt aus dem Gewicht in die Hubhöhe ist, so muß man den Körper also möglichst schwer machen. Diese Eigenschaften bedeutender Schwere mit sehr großer Elasticitätskraft besitzt das Eisen, und das Instrument, welches wir uns eben mechanisch ersonnen haben, ist der Hammer, in welchem man bei verhältnißmäßig geringer Hebung einen bedeutenden Arbeitsvorrath aufspeichern kann, um ihn dann in Arbeit gegen elastische Kräfte umzusetzen. Jeder Arbeiter, der den Hammer benutzt, mag er nun zertrümmern, oder Nägel einschlagen oder nieten, thut Arbeit gegen die Kohäsionskräfte; und auch hier bewährt sich also das Gesetz von der Wandelbarkeit aber Unvernichtbarkeit der Arbeit. Ja wir benutzen diesen Satz nun, um Arbeiten der letzteren Art zu messen. Arbeiten bei Hebungen wissen wir direkt zu messen durch Gewicht und Hubhöhe; allgemein gesprochen durch die Kraft und den Weg, längs welches die Kraft überwunden worden ist. Bei elastischer Arbeit ist uns dieß beides unbekannt, aber auf unserm Satze fußend können wir sagen: Wenn ein meßbarer Arbeitsvorrath, z. B. eines Gefälles eines gehobenen Hammers aufgebraucht wird zur Hervorbringung einer elastischen Arbeit, so muß diese gleich sein dem aufgewandten Vorrath. Sobald man also nur die Vergleichung der geleisteten Kohä-

sionsarbeit mit dem Aufwand an Hebungsarbeit ausführen kann, läßt sich der Werth der ersteren in Fußpfunden angeben. Wenn z. B. der Sägemüller erfahren will, welche Arbeit sein Sägeblatt thut, so muß er messen, wie viel Wasser auf sein Rad in der Sekunde fällt und wie hoch sein Gefälle ist. Beides mit einander multiplicirt giebt den Arbeitsvorrath, über den er jede Sekunde zu verfügen hat. Wenn dieser nur ein einziges Sägeblatt treibt, so gibt dieselbe Zahl die Arbeit an, welche dieses in der Sekunde gegen die Zusammenhangskräfte des Holzes leistet.

Bei solchen Vergleichungen tritt nun immer störend der Einfluß der Reibung dazwischen. Es scheint sogar, als ob unser Satz nicht strenge richtig wäre und daß wir sagen müßten: die geleistete Arbeit ist immer gleich dem aufgewandten Vorrath, weniger einer Quantität, die bei der Reibung verloren geht. Was aus dieser verlorenen Arbeit wird, wollen wir für den Augenblick noch unentschieden lassen. Jedenfalls aber können wir auf Grund unseres Satzes unter gewissen Umständen bestimmen, wie viel Arbeit durch Reibung konsumirt wird; indem wir die wirklich geleistete Arbeit messen und von dem verbrauchten Arbeitsquantum abziehen. Der Rest ist durch Reibung aufgebraucht. Wenn keine Reibung stattfände, so wären unsere Maschinen lauter sog. vollkommene Maschinen, welche genau dasselbe Arbeitsquantum leisten, das sie von der Triebkraft konsumirten, oder die, wie der Techniker sagt, einen Nutzeffekt von 100 pCt. geben. Es würde dann ein Leichtes sein, ein sog. Perpetuum mobile zu konstruiren, d. h. eine Maschine, welche sich immerfort bewegt, ohne die Zuführung neuer Triebkraft zu bedürfen. Wir brauchten z. B. nur ein oberschlächtiges Rad mit einer Pumpe so zu verbinden, daß die Letztere das vom Rad abfallende Wasserquantum wieder in ein über dem Rad liegendes Reservoir emporpumpt, aus welchem es immer wieder auf das Rad fällt.

Wenn kein Reibungsverlust stattfindet, so muß der Arbeitsvorrath, welcher verschwindet, wenn eine Wassermenge vom oberen Rande des Rades bis zum unteren sinkt, genau dieselbe Masse zur selben Höhe wieder emporheben können. Die eingehende Betrachtung der Arbeitsgrößen, welche durch Reibung verschwinden, muß ich auf den zweiten Theil dieses Vortrags verschieben. Nur soviel sei hier mitgetheilt, daß dieser Verlust nur ein scheinbarer ist und daß auch in der Reibung keine Arbeit verschwindet sondern nur umgewandelt wird.

Für jetzt muß ich noch einen anderen Punkt zur Sprache bringen; eine neue Form, unter welcher die Arbeitsvorräthe erscheinen können. Selbst wenn man die Reibung unberücksichtigt läßt, gibt es doch viele Fälle, wo Arbeit konsumirt wird, verschwindet, ohne daß andere Arbeit geleistet wird. Man braucht nur folgenden Vorgang zu betrachten. Ein schwerer Körper, der auf dem Boden eines Zimmers gelegen hat, werde bis zur Decke gehoben, dann ist ein Arbeitsvorrath in ihm aufgespeichert, welcher in Fußpfund ausgedrückt gleich ist dem Gewicht des Körpers multiplicirt mit der Höhe des Zimmers. Der Körper möge nun frei herabfallen, an der Stelle des Bodens aber, wo er vorher gelegen, sei der Boden weggenommen und der Körper falle weiter hinab in die tieferen Räume des Hauses, wohin wir ihn nicht weiter verfolgen wollen. Es genügt, den Körper bis zu dem Augenblicke zu betrachten, wo er die Stelle durchfällt, von der aus er gehoben worden ist. Es ist kein Zweifel, daß der Körper bis diesem Augenblick keine Arbeit geleistet hat, die Arbeit muß also noch im Vorrath in ihm vorhanden sein. Der Zustand des Körpers im Augenblicke der Ankunft unterscheidet sich aber auch wesentlich von dem Zustand, in dem er sich befinden würde, wenn er eine Arbeit geleistet hätte. Denken wir uns die Arbeit der Einfachheit halber so geleistet, daß das Gewicht

an einem über eine Rolle gehenden Seile befestigt ist und beim Niedersinken ein gleiches Gewicht hebt, so ist, wenn von der Reibung abgesehen wird, der geringste Druck auf das obere Gewicht vermögend, dasselbe zu langsamem Sinken zu bringen. Das Sinken dauert fort, bis das Gewicht auf dem Boden angekommen ist. Es kommt also hier mit einem Minimum von Geschwindigkeit an, wenn es die Arbeit der Hebung des anderen Gewichtes vollziehen muß; wir können sagen ohne Geschwindigkeit, denn wir können das Sinken so langsam einrichten als wir wollen. Wenn aber das Gewicht ohne Arbeit zu leisten frei herabfällt, so verhält es sich ganz anders. Da besitzt dasselbe beim Erreichen seiner früheren Lage eine bestimmte Geschwindigkeit, welche von der Fall-Höhe abhängt und in sehr bedeutendem Maße wächst, wenn diese Höhe wächst. In dieser Geschwindigkeit liegt das Aequivalent für die Arbeit, welche im anderen Falle geleistet worden ist. In der Geschwindigkeit muß ein Arbeitsvorrath enthalten sein. Daß dieß wirklich der Fall ist, davon kann man sich leicht überzeugen, man kann nämlich sofort die Geschwindigkeit verbrauchen, um eine Arbeit zu erzeugen, man kann den Arbeitsvorrath in Arbeit umsetzen. Denkt man sich auf dem unteren Boden einen Balken in der Mitte durch eine Schneide unterstützt und ein dem fallenden gleiches Gewicht auf dem einen Ende a ebenso weit von der Schneide entfernt stehend, wie der Punkt auf dem anderen Ende b, auf den das Gewicht herabfalle, so wird durch den Schlag des fallenden Gewichtes auf b das Gewicht bei a in die Höhe geschleudert und zwar eben so hoch, als jenes herabgefallen ist. Das Gefallene kommt dabei zur Ruhe. Man sieht hier, wie durch Verbrauch einer Geschwindigkeit eine Arbeit geleistet ist, und zwar ist diese Arbeit wieder gleich dem Gewichte, multiplicirt mit der Hub- resp. Fall-Höhe.

Die Mechanik lehrt bei jeder beliebigen gegebenen Fallhöhe die Geschwindigkeit zu berechnen, womit der Körper unten ankommt, und umgekehrt aus jeder beliebigen Geschwindigkeit die Fallhöhe zu berechnen, welche nothwendig ist, um dem Körper diese Geschwindigkeit zu ertheilen. Es ist gar nicht nothwendig, daß der Körper seine Geschwindigkeit wirklich einem freien Falle verdankt. Er mag sie jeder anderen Ursache verdanken, der Kraft des Pulvers, der Elasticität, der thierischen Kraft; überall können wir vermittelst derselben Formel aus der Geschwindigkeit selbst sofort die Höhe berechnen, von welcher der Körper herabgefallen sein müßte, damit er durch den Fall diese Geschwindigkeit erlangt hätte; und hiermit ist zugleich der ihm bei dieser Geschwindigkeit innewohnende Arbeitsvorrath gegeben, denn dieser ist gleich der berechneten Höhe multiplicirt mit dem Gewichte des Körpers. Es ist dabei ganz gleichgültig, welche Richtung diese Geschwindigkeit im Raume hat; jede läßt sich durch eine geeignete Vorrichtung, z. B. einen Winkelhebel, in Hebungsarbeit verwandeln. Man benutzt eine solche Einrichtung, um bei artilleristischen Versuchen die Geschwindigkeit der Geschosse aus der gemessenen Arbeitsleistung zu bestimmen. Der Apparat heißt das ballistische Pendel. Ein schwerer eisenbeschlagener Holzwürfel ist an einem längeren Draht pendelartig aufgehängt. Das Geschoß wird gegen die Mitte einer seiner Seitenflächen abgeschossen, bohrt sich ein und bringt den Block aus seiner Lage. Er macht eine Pendelschwingung, deren Weite an einem Gradbogen abgelesen wird. Daraus läßt sich die Höhe berechnen, um welche der Schwerpunkt des Würfels über das Niveau seiner Ruhelage erhoben wird. Diese Höhe multiplicirt mit der Masse des Blocks gibt die Arbeitsleistung, welche gleich sein muß dem Arbeitsvorrath der Kugel. Vermöge der schon erwähnten Formel der Mechanik läßt

sich aus diesem Arbeitsvorrath die Geschwindigkeit der Kugel bestimmen, wenn ihr Gewicht bekannt ist.

So besitzt eben jeder sich bewegende Körper einen gewissen Arbeitsvorrath allein in seiner Bewegung. Daraus erklärt sich die Förderlichkeit des Schwungs bei vielen mechanischen Verrichtungen. Wenn ich den Hammer brauche, so lasse ich ihn nicht nur aus einer gewissen Höhe fallen, sondern ich gebe ihm vermöge meiner Armkraft eine größere Geschwindigkeit, einen Schwung, dessen Arbeitsvorrath sich zu demjenigen hinzu addirt, welcher in der Hebung aufgespeichert ist. Aus diesem Grunde wendet man bei so vielen Maschinen das Schwungrad an, um den Gang zu regeln. Bei der Dampfmaschine z. B. wirkt die Triebkraft periodisch, d. h. es wird auf den Kolben so lange Arbeit übertragen, als er sich von einem Ende des Cylinders zum andern bewegt, dann tritt ein Stillstand ein; der Dampf tritt auf die andere Seite des Kolbens und nun erst beginnt die rückläufige Bewegung. Nach jedem Kolbengang tritt also ein sogenannter todter Punkt ein, wo die Maschine keinen Arbeitsvorrath empfängt, also auch keine Arbeit leisten kann. Wenn aber die Maschine ein Schwungrad besitzt, das sich mit hinlänglicher Geschwindigkeit dreht, so enthält dieß einen solchen Arbeitsvorrath, daß es, während der Kolben seinen Stillstand hat, von diesem Vorrath abgibt und so ermöglicht, daß die Arbeit, welche die Dampfmaschine vermitteln soll, ununterbrochen fortgeschieht. Der Gang der Maschine ist demnach so, daß bei jedem Kolbenstillstand der Arbeitsvorrath des Schwungrades um etwas vermindert, bei jedem Kolbengang wieder ergänzt wird.

In der Natur finden sich große Arbeitsvorräthe in Gestalt von Geschwindigkeiten angehäuft. Alle Wassergefälle, welche nicht gefaßt und benutzt werden, haben zur Wirkung, daß sie die in ihnen enthaltenen Wassermassen mit mehr oder weniger bedeutenden

Geschwindigkeiten strömen machen. Diese Geschwindigkeiten enthalten dann dieselben Arbeitsvorräthe wie die sie erzeugenden Gefälle, vorausgesetzt, daß sie keine wirklichen Arbeiten verrichtet haben. Sie leisten aber Arbeit, indem sie ihr Bett verändern, Steine, Geröll, Sand und Schlammmassen loslösen und befördern, also Arbeit gegen die Zusammenhangskräfte der sie umschließenden Theile der Erdoberfläche und Erzeugung von Geschwindigkeit an vorher ruhenden Massen. Die natürlichen Stromgeschwindigkeiten sind an vielen Stellen benutzt zum Betrieb unterschlächtiger Wasserräder, welche durch den Stoß des Wassers getrieben werden, während die ober- und mittelschlächtigen durch das Gewicht des Wassers getrieben werden. Noch viel mehr werden aber in gewissen Gegenden die in dem Wind enthaltenen Arbeitsvorräthe ausgebeutet durch die Windmühlen, deren Flügel durch den Stoß des Windes in Bewegung gesetzt werden. In ebenen Gegenden, wo der Wind viel regelmäßiger weht und sich dreht als im Gebirge, ersetzt derselbe vielfach die mangelnden Gefälle des Wassers. Fast alles Getreide wird in Holland und Norddeutschland durch den Wind gemahlen.

Im Bisherigen war mehrmals davon die Rede, daß alle unsere Maschinen nicht die volle Arbeit leisten, welche sie nach dem Satze von der Unvernichtbarkeit der Arbeit leisten müßten, d. h. daß nicht der ganze konsumirte Arbeitsvorrath eines Gefälles in nutzbare Arbeit umgesetzt wird. Ich habe diesen Verlust kurzweg auf Rechnung der Reibung zwischen den Maschinentheilen gesetzt und mich einstweilen mit der erfahrungsmäßigen Thatsache begnügt, daß faktisch etwas an Arbeit verloren geht. Man kann sich leicht überzeugen, daß in der That durch Reibung Arbeit aufgebraucht wird. Wenn auf einer horizontalen Ebene, z. B. einem langen Tisch, ein auf der Unterfläche glatter Gegenstand, denken wir etwa an ein Bügeleisen, durch einen Stoß in

gleitende Bewegung über den Tisch hin versetzt wird, so dauert diese Bewegung in der Regel nicht lange, sondern sie nimmt schnell an Geschwindigkeit ab und nach längerer oder kürzerer Zeit, je nach der Stärke des Stoßes, bleibt der Gegenstand liegen. Durch den Stoß hat derselbe eine gewisse Anfangs-Geschwindigkeit, also einen gewissen Arbeitsvorrath erhalten. Nach Beendigung seiner Bewegung ist dieser Vorrath scheinbar verschwunden, ohne daß jedoch eine Arbeit geleistet worden wäre; denn da der Tisch horizontal ist, so wird keine Arbeit gegen die Schwere geleistet und ebensowenig wird eine Arbeit gegen die inneren Zusammenhangskräfte des Tisches oder des Eisens geleistet, denn weder Tisch noch Eisen werden in ihrer Gestalt im Geringsten verändert. Hier scheint unser Satz von der Erhaltung der Arbeit uns im Stiche zu lassen. Der Arbeitsvorrath ist verschwunden, konsumirt, wie man zu sagen pflegt, durch die Reibung. Nun ist es aber schon seit lange durch die Erfahrung bekannt, daß bei jeder Reibung ein neues Agens auftritt, nämlich Wärme. Man kann bei geeigneter Einrichtung der Versuche die Quantität der auftretenden Wärme messen und hat bei allen derartigen Versuchen gefunden, daß in demselben Verhältniß Wärme erzeugt wird, in welchem Arbeitsvorrath verschwindet.

Wenn nun unser Satz richtig ist, so müssen wir folgenden Schluß ziehen: Eine Bewegung von bestimmtem Arbeitsvorrath ist verschwunden, keine Arbeit geleistet, folglich kann die Bewegung nur auf andere Körper übertragen, höchstens unsichtbar geworden sein. In demselben Maße wie Bewegung verschwindet, tritt Wärme auf, folglich ist die Wärme unsichtbare Bewegung, die den verschwundenen Arbeitsvorrath enthält.

Obgleich dieser Schluß ein ganz strenger ist, wird er doch für Jeden, der ihn zum ersten Male hört, noch einer Erläuterung

bedürfen, namentlich über die Art der Bewegung, die wir als Wärme empfinden.

Wer den Ausdruck Bewegung hört, pflegt sich darunter eine wahrnehmbare Ortsveränderung eines Körpers vorzustellen, wobei jeder Punkt desselben eine mehr oder weniger lange Wegstrecke zurücklegt. Es gibt aber selbst solche Bewegungen, wo beträchtliche Wegstrecken durchlaufen werden und es trotzdem schwer ist, zu bemerken, daß der Körper in Bewegung befindlich ist. Denken wir uns eine Kugel von blank polirtem Messing, welche genau durch die Mitte durchbohrt und auf eine glatt abgedrehte eiserne Achse gesteckt ist, deren beide Enden irgendwo befestigt sein mögen. Auf irgend eine Weise werde die Kugel um diese Achse in rasche drehende Bewegung gesetzt. Wenn sich auf der polirten Fläche Anhaltspunkte für das Auge finden, Flecken oder Striche, so wird man leicht bemerken, daß die Kugel sich bewegt, denn man sieht diese kenntlichen Punkte an seinem Auge vorübereilen. Wenn aber die Politur sehr vollkommen ist, so daß sich kein Punkt von dem anderen unterscheidet, so wird es dem Auge außerordentlich schwer zu beurtheilen, ob die Kugel sich bewegt und wie rasch sie rotirt, weil es eben nicht zu unterscheiden vermag, ob ein Punkt, der sich jetzt ihm gegenüber befindet, ein anderer ist als der, welcher sich ihm einen Augenblick früher gegenüber befand. Diese Schwierigkeit wird zunehmen, je rascher sich die Kugel dreht und je weiter von der Kugel entfernt man sich aufstellt. Bei einer gewöhnlichen polirten Messingkugel von 1 Fuß Durchmesser, welche in der Sekunde 10 Umdrehungen machte, würde aus 10 Schritt Entfernung Niemand mit unbewaffnetem Auge unterscheiden können, ob die Kugel in Ruhe oder Bewegung befindlich ist. Je kleiner die Kugel ist und je rascher sie rotirt, um so mehr kann man sich nähern, ohne die Bewegung zu bemerken. Es gibt jedoch stets ein un-

trügliches Mittel, zu unterscheiden, ob Bewegung stattfindet oder nicht. Man braucht nur die Hand der Kugel zu nähern und erhält im Falle der Bewegung eine empfindliche Streifung der Haut; das Gefühl tritt an die Stelle des Gesichts.

Wir wollen uns nun statt der einen Kugel eine ganze Reihe von solchen, z. B. 1000, denken, welche alle auf dieselbe Achse dicht nebeneinander aufgesteckt sind und sich um dieselbe drehen. Von solchen Kugelreihen wollen wir uns dann 1000 parallel neben einander gelegt denken, mit ihren Enden auf einem Gestell ruhend und so nahe, daß die Kugeln einer Reihe gerade die der nächsten berühren. Ich habe dann eine Schicht von 1000 . 1000 = 1,000,000 Kugeln und solcher Schichten will ich mir nun weiter 1000 übereinander auf einem gemeinschaftlichen Gestell, welches die Achsenenden trägt, angebracht denken. Ich habe dann einen mit 1000 Millionen Kugeln angefüllten Würfel, der 1000 Kugeln lang, 1000 Kugeln breit und 1000 Kugeln hoch ist. Zwischen den einzelnen Kugeln befinden sich nur Zwischenräume, deren Größe unbedeutend gegen denjenigen Raum ist, den die Kugeln selbst einnehmen. Ich will das Ganze mein System nennen. Alle diese Kugeln seien in sehr rascher Drehung um die Achsen begriffen. Aus gewisser Entfernung gesehen, wird man diese Bewegung nicht bemerken, sondern das System scheint in Ruhe zu sein. Denken wir uns nun das ganze System kleiner und kleiner werdend, lassen wir jede Kugel, die wir von 1 Fuß Durchmesser annahmen, zusammenschrumpfen auf den 100ten Theil ihres ursprünglichen Durchmessers, so wird jede Kugel nur noch eine Linie Durchmesser haben und das ganze System, welches einen Würfel von 1000 Fuß Seitenlänge bildete, jetzt nur noch einen solchen von 10 Fuß Seitenlänge bilden. Jede der 1000 Millionen Kugeln hat die Größe einer kleinen Erbse, rotire aber eben so rasch wie vorher. In

diesem Falle werden wir schon ziemlich nahe herangehen können, ohne die Bewegungen wahrzunehmen. Lassen wir jetzt alle Dimensionen noch einmal auf den 100ten Theil zusammenschrumpfen, so bildet das ganze System einen Würfel von nur 1 Zoll Seite, und die einzelne Kugel ist dem bloßen Auge nicht mehr unterscheidbar, von einem Erkennen der Bewegung durch das Auge kann also noch viel weniger die Rede sein. Aber wahrnehmen kann man deßhalb die Bewegung doch; wenn man mit dem Finger die Seitenfläche dieses Würfels berührt, so wird die Haut von einer großen Zahl dieser rotirenden Kügelchen berührt und jedes streift bei seiner Bewegung die Haut. Man wird also eine prickelnde Empfindung haben, welche in eine um so gleichmäßigere Empfindung der Haut übergehen wird, je kleiner die Kügelchen sind.

Wenn ein unbefangener Mensch einen solchen Würfel, oder allgemeiner gesagt, einen Körper, welcher aus lauter solchen unsichtbar rotirenden Kügelchen besteht, in die Hand bekäme, so würde er durch die Empfindung, die er bekommt, durchaus nicht etwa auf die wirkliche Ursache derselben schließen, sondern er würde höchstens dem Körper einen besonderen Zustand zuschreiben, der eben jene Empfindung hervorbringt, und würde dieser letzteren, wenn noch kein Name dafür vorhanden wäre, einen neuen Namen beilegen.

Unsere Voreltern haben einer solchen Empfindung den Namen Wärme beigelegt und in unserem Jahrhundert ist nachgewiesen, daß Wärme Bewegung sei, es hat also nach den vorausgegangenen Betrachtungen durchaus nichts Unwahrscheinliches, unter dem Zwange jenes Nachweises anzunehmen, daß alle Körper aus kleinen, selbst dem besten Mikroskop nicht unterscheidbaren Theilchen bestehen, die sich bewegen. Es ist dazu nicht einmal nothwendig, daß die Theilchen kugelförmig sind, denn das

könnten wir doch nicht unterscheiden; auch braucht die Bewegung nicht eine rotirende zu sein, sondern z. B. eine oscillirende, und würde doch unserem Auge entgehen. Selbst ohne daß man sich eine genaue Vorstellung über die Art dieser Bewegung machen kann, ist es also durchaus nicht unverträglich mit unseren hergebrachten Erfahrungen, der Behauptung der Physiker beizutreten, daß die Wärme in einer Bewegung der kleinsten Theilchen der Körper besteht und daß der Satz von der Unvergänglichkeit der Arbeitsvorräthe auch auf die Bewegung, welche wir Wärme nennen, seine Anwendung findet.

Aus dieser Anwendbarkeit entspringt die Möglichkeit der Umwandlung von Arbeit in Wärme und von Wärme in Arbeit und der Satz läßt sich in seiner Ausdehnung nun so aussprechen:

Es kann Arbeit in Wärme und Wärme in Arbeit verwandelt werden, wobei immer die zweite in dem Maße entsteht, in dem die erste verschwindet.

Von wie hoher Wichtigkeit dieser Satz für die Betrachtung der natürlichen Arbeitsvorräthe und ihrer Verwerthung ist, springt in die Augen. Schon haben wir gesehen, wie bei jeder Benützung natürlicher Vorräthe der Nutzeffekt niemals die volle Höhe der konsumirten Arbeit erreicht. Wir folgern jetzt ohne Weiteres, daß der Verlust in Wärme umgewandelt sein muß. Andererseits führt die Möglichkeit, Wärme in Arbeit zu verwandeln, zur Einsicht, daß alle brennbaren Körper, so namentlich alle Heizstoffe Arbeitsvorräthe in sich enthalten, wonach sich also die Menge solcher Vorräthe in der Natur ungeheuer viel umfangreicher herausstellt, als es zuvor schien.

Es möge mir gestattet sein, der Kürze halber von Arbeitsvorräthen erster und zweiter Art zu sprechen, wobei ich unter denen zweiter Art solche verstehen will, die in Gestalt von Brennstoff aufgespeichert liegen. Bei der Verwerthung von Arbeits-

vorräthen erster Art muß, um möglichst große Nutzeffekte zu erzielen, die Gelegenheit zur Wärmeentwicklung möglichst abgeschnitten werden. Wir haben uns also darüber zu unterrichten, bei welchen mechanischen Vorgängen Arbeit in Wärme verwandelt wird.

Der wichtigste dieser Vorgänge ist die Reibung, welche stattfindet, wenn zwei in Berührung befindliche Körper sich mit verschiedener Geschwindigkeit bewegen, oder wenn der eine ruht, der andere sich bewegt. Daß dabei Wärme entsteht, ist eine Sache alltäglicher Erfahrung. Wenn wir frieren, reiben wir uns die Hände, um uns zu erwärmen. Es ist bekannt, daß Bohrer, Meißel, Feile bei starker Arbeit warm werden, daß Wagenachsen bei rascher Fahrt sich oft stark erhitzen u. s. f.

Hieran reiht sich die Wärmeerzeugung durch Schlag und Stoß. Beim Hämmern, Stampfen u. dgl. findet stets eine bedeutende Erwärmung des Werkzeugs wie des Objekts statt. Diese Erscheinung reiht sich ein unter die allgemeinere Thatsache, daß bei jeder Kompression Wärme erzeugt wird, was namentlich bei Gasen, z. B. bei der Luft, sehr leicht nachweisbar ist. Hat man doch das sogenannte pneumatische Feuerzeug, in dessen Cylinder ein Stückchen Feuerschwamm nur durch plötzliche, sehr starke Kompression eines Luftquantums vermittelst des Kolbens entzündet wird. Das Feuerschlagen mit Stahl und Stein beruht nur auf der Wärmeerzeugung durch Schlag und Reibung, wobei die abgeschlagenen Stahlsplitter bis zum Glühen erhitzt werden und den Schwamm in Brand setzen.

Bei allen Maschinen, welche nutzbare Arbeit liefern sollen, ist also darauf Acht zu haben, daß alle Stöße vermieden werden, daß sie nicht stampfen, und daß die Reibung möglichst verringert wird, was hauptsächlich durch die Schmiermittel geschieht.

Viel interessantere Verhältnisse treten aber zu Tage, wenn

man die Erscheinungen untersucht, welche mit der umgekehrten Umwandlung, der von Wärme in Arbeit verknüpft sind. Es ist bekannt, daß die Wärme alle Körper ausdehnt; es beruht ja darauf die Messung der Temperatur durch das Thermometer. Bei jeder Ausdehnung wird Arbeit verrichtet. Am sichtbarsten ist diese Arbeit, wenn man sie durch Ausdehnung eines Gases leisten läßt. Wenn in einem senkrechtstehenden Cylinder eine Luftmenge durch einen Kolben abgeschlossen ist, so hebt sie den Kolben bei der Erwärmung in die Höhe, auch wenn derselbe mit Gewichten belastet ist; eine Erscheinung, welche Ericsson in der sog. kalorischen Maschine als bewegende Kraft benutzt hat. Der beschriebene Versuch kann mit Vortheil benutzt werden, um zu untersuchen, eine wie große Arbeit einer bestimmten Wärmemenge entspricht. Man braucht nur die Größe der Hebung des Kolbens zu messen und sie mit dem Gewicht desselben zu multipliciren, so erhält man, in Fußpfund oder Meterkilogramm ausgedrückt, die geleistete Arbeit. Diese muß verglichen werden mit der dem Gase zugeführten Wärmemenge. Zu diesem Zwecke müssen wir Wärmemengen messen lernen. Wie man Arbeitsgrößen durch die Arbeitseinheit, nämlich 1 Fußpfund oder 1 Meterkilogramm mißt, so muß auch zum Maß der Wärmemengen eine Wärmeeinheit festgesetzt werden. Die Physiker haben als Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge festgesetzt, welche einem Kilogramm Wasser zugeführt werden muß, damit dessen Temperatur um 1° C. erhöht wird. Man nennt diese Wärmemenge eine Kalorie oder auch einfach die Wärmeeinheit. Wenn man also bei dem vorigen Versuch die Erwärmung des Gases dadurch bewirkt, daß man den dasselbe enthaltenden Cylinder in ein Gefäß mit einem Kilogramm warmen Wassers von z. B. 30° Temperatur setzt, so hat das Wasser, wenn es nach vollendetem Versuche nur noch 27° enthält, gerade 3 Kalorien verloren und

an das Gas abgegeben. Davon ist nun ein Theil zur Temperaturerhöhung des Gases verwandt worden und dieser Theil läßt sich bestimmen, wenn diese Temperaturerhöhung mittelst eines Thermometers gemessen wird, ein anderer Theil ist aber in Arbeit verwandelt. Wenn der erste Theil z. B. 2 Kalorien beträgt, so ist der Rest von einer Kalorie in Arbeit umgesetzt und für das Thermometer verschwunden. Die geleistete Arbeit ist also dann äquivalent mit einer Kalorie, einer Wärmeeinheit. Bei der Bestimmung der Arbeit ist aber Eines nicht zu vergessen. Auf den Kolben drückt nämlich nicht allein das etwa darauf gelegte Gewichtstück, sondern auf ihm lastet auch der Druck der Atmosphäre, welcher 15 Pfund auf jeden Quadratzoll der Kolbenfläche beträgt, oder in Metermaß ausgedrückt, 10333 Kilogramm auf den Quadratmeter. Wenn man dies gehörig in Rechnung zieht, so ist das Resultat solcher Versuche, wie sie auch sonst variirt werden mögen, ob sie mit Luft, mit Wasserstoff, Sauerstoff oder einem anderen Gase angestellt werden mögen, ob viel oder wenig Wärme zugeführt wird, immer dasselbe. Man findet, daß der Aufwenduug, dem Verschwinden von einer Wärmeeinheit die Leistung einer Arbeit von 424 Meterkilogramm entspricht. Diese Zahl ist von universeller Bedeutung, sie ist das Arbeitsäquivalent der Wärmeeinheit und wird auch abgekürzt das mechanische Wärmeäquivalent genannt.

Wie man diese Zahl durch Verwandlung von Wärme in Arbeit bestimmen kann, so kann man eine solche Bestimmung auch vermittelst des umgekehrten Prozesses ausführen, indem man gemessene Arbeitsgrößen in Wärme verwandelt, z. B. durch Reibung, und die entstandene Wärmemenge mißt. Auch die zahlreichen Experimentaluntersuchungen dieser Art führen immer wieder auf jene Zahl 424.

Bekanntlich werden die Körper durch die Wärme in sehr

verschiedenem Maße ausgedehnt. Die festen und tropfbarflüssigen Körper erfahren nur eine geringe Volumveränderung und wenn man z. B. die Arbeit, welche bei Ausdehnung eines eisernen Stabs geleistet wird, dadurch messen wollte, daß man ihn senkrecht aufstellte, auf sein oberes Ende ein Gewicht legte und dessen Hebung mäße, so würde man bei der Vergleichung mit der zugeführten Wärmemenge ein viel zu kleines Arbeitsäquivalent der Wärmeeinheit finden. — Nach den Betrachtungen, die wir im ersten Theile dieses Vortrags über die Zusammenhangskräfte der Körper angestellt haben, läßt sich aber ein solches Resultat erwarten. Jede Ausdehnung eines Körpers ist gleichbedeutend einer Entfernung seiner kleinsten Theilchen von einander und um diese zu bewirken, ist, wie wir gesehen haben, eine Arbeit gegen die elastischen Kräfte zu leisten nöthig. Die Ausdehnung jedes festen Körpers ist also mit einer Leistung von Arbeit gegen die Zusammenhangskräfte, einer sogenannten inneren Arbeit verbunden, deren direkte Messung unmöglich ist. Bei den Flüssigkeiten ist es ebenso, nur ist da die innere Arbeit in der Regel kleiner als bei den festen Körpern.

Wenn man den Ausdehnungsversuch mit einem festen oder tropfbarflüssigen Körper wiederholt, so findet sich die verschwundene Wärmemenge zwar auch wieder in geleisteter Arbeit, aber diese Arbeit ist nur zum kleineren Theil eine äußere, meßbare Arbeit, zum größeren Theile eine innere, nicht meßbare. Nur bei den sogenannten vollkommenen Gasen ist die innere Arbeit nicht vorhanden, d. h. die einzelnen Gastheilchen sind ohne Einwirkung auf einander, es sind keine Kräfte zwischen ihnen thätig, die sich der gegenseitigen Annäherung oder Entfernung widersetzen. Wird also einem festen Körper Wärme zugeführt, so wird ein Theil derselben zur Temperaturerhöhung verwandt, ein anderer Theil in Arbeit umgesetzt und zwar vorzugsweise in

innere Arbeit. Wenn die Wärmezufuhr fortdauert, so kommt schließlich der Körper auf einen Temperaturpunkt, von dem an er nicht mehr wärmer wird, wo die Temperatur auch bei weiterer Zuführung von Wärme unverändert bleibt. Da muß dann alle zugeführte Wärme in Arbeit umgesetzt werden. Das Resultat dieses Vorganges ist auffallend genug: Der feste Körper beginnt hier in den flüssigen überzugehen, er schmilzt. Der so definirte Temperaturpunkt ist der Schmelzpunkt, bei welchem in Folge der inneren Arbeit die kleinsten Theilchen des Körpers ganz aus ihrem Zusammenhang gerissen und in einen neuen viel loseren Zusammenhang, in den flüssigen Aggregatzustand übergeführt werden. Dauert nach vollendeter Schmelzung die Wärmezuführung fort, so wird wieder die Temperatur erhöht und daneben eine innere nicht wahrnehmbare Arbeit geleistet. Dieß dauert so lange, bis der Siedepunkt der Flüssigkeit erreicht ist, wo dann wieder bei unverändert bleibender Temperatur nur innere Arbeit geleistet wird, deren Resultat ist, daß die Theilchen selbst aus dem Zusammenhang, in dem sie noch als Flüssigkeit standen, herausgerissen werden und in den ungebundensten, den gasförmigen Aggregatzustand, in Dampfform übergehn. Die Dämpfe theilen die Eigenschaft der Gase, daß in ihnen die Wirkung der Kohäsionskräfte so gut wie aufgehoben ist, daß freie Dampfmassen also keinen fest begränzten Raum einnehmen, sondern sich nach allen Richtungen hin ins Unbegränzte auszubreiten streben. Dieses Bestreben zeigt sich in Gestalt eines Drucks, den der Dampf gegen jede sich seiner Ausbreitung widersetzende Fläche ausübt, und den man die Spannkraft des Dampfes nennt.

Die Möglichkeit, durch Wärmezufuhr Flüssigkeiten, vor Allem Wasser, in Dampf von beliebiger Spannkraft zu verwandeln, ist es nun namentlich, welche die Ausbeutung der in Gestalt von Brennmaterial aufgehäuften Arbeitsvorräthe vermittelt.

Denken wir wieder an den stehenden Cylinder, auf dessen Boden sich dießmal eine Schicht Wasser befinde; über dem Wasser sei ein luftleerer Raum und dann sei der Kolben aufgesetzt. In diesem Falle muß der Kolben festgehalten werden, sonst würde er, auch wenn er keine eigene Schwere hätte, durch den äußeren Luftdruck in den luftleeren Raum bis auf die Oberfläche des Wassers hinabgedrückt. Nun werde das Wasser durch eine untergesetzte Flamme erhitzt. Bald beginnt es zu kochen und der Raum über ihm füllt sich mit Dampf. Der Dampf ist bei weiterer Erhitzung bestrebt sich auszudehnen, wie es die Luft auch thun würde, und seine Spannkraft, sein Druck gegen den Kolben wächst. Es kommt ein Zeitpunkt, wo der Druck von innen gegen den Kolben dem äußeren Atmosphärendruck gleich wird, und von dem Augenblick an braucht der Kolben nicht mehr durch Festhalten gegen das Eindringen geschützt zu werden. Wird aber nun die Temperatur noch weiter gesteigert, so überwiegt der Dampfdruck und der Kolben wird hinausgetrieben. Dieß tritt früher oder später ein, jenachdem der Kolben nur den Atmosphärendruck zu erleiden hat, oder noch mit Gewichten beschwert ist. Unter allen Umständen wird bei seiner Hebung eine Arbeit geleistet, wozu ein Theil der zugeführten Wärme verbraucht wird.

Der eben beschriebene ist der Grundvorgang in der Dampfmaschine, der bei jedem Kolbenhub eintritt. Indem durch geeignete mechanische Hülfsmittel dieser Vorgang in regelmäßigen Perioden wiederholt und die Wirkung jedesmal in demselben Sinne auf ein Schwungrad übertragen wird, erhält man jene so ungemein fruchtbare Methode der Verwerthung von Arbeitsvorräthen, die in Brennstoffen aufgespeichert sind.

Wir haben nun die Möglichkeit eingesehn, Arbeit in Wärme und umgekehrt Wärme in Arbeit zu verwandeln, und beide Pro-

zesse scheinen sich in Nichts zu unterscheiden, als in der Umkehr der Verwandlung. Trotzdem besteht zwischen diesen entgegengesetzten Vorgängen noch ein tiefgreifender Unterschied. Eine gegebene Arbeitsgröße kann immer vollständig, ohne Rest, in Wärme verwandelt werden, wie z. B. in dem Falle mit dem gleitenden Körper, dessen Arbeitsvorrath vollständig aufgezehrt wird, so daß er absolut zur Ruhe kommt. Der ganze Vorrath wird in Wärme verwandelt. Es ist aber nicht möglich, umgekehrt eine gegebene Wärmemenge, z. B. die durch Verbrennung eines Centners Kohlen entwickelte Menge ganz in Arbeit umzusetzen, sondern es kann nur ein Theil derselben in Arbeit verwandelt werden. Die Verwandlung von Wärme in Arbeit ist nämlich an die Bedingung geknüpft, daß gleichzeitig eine gewisse Wärmemenge von einem wärmeren Körper in einen kälteren übergeht, z. B. wird bei der Dampfmaschine eine bedeutende Wärmemenge von dem Dampf entweder in die Luft mitgenommen, wie bei der Hochdruckmaschine, oder an das Einspritzwasser des Kondensators abgegeben, wie bei der Niederdruckmaschine. Aehnlich ist es bei der Ericssonschen Maschine, wo die erhitzte Luft eine bedeutende Wärmemenge mit hinaus ins Freie nimmt.

Aus diesem Grunde kann man die Arbeitsleistung einer Dampfmaschine nicht etwa direkt gleichsetzen dem mechanischen Aequivalent der durch das verbrannte Heizmaterial erzeugten Wärmemenge. Es wird vielmehr nur ein Bruchtheil dieser letzteren in Arbeit umgesetzt und zwar ein Bruchtheil, der um so größer wird, je höher die Temperatur ist, bei der die Maschine arbeitet.

Nach diesen Andeutungen über die Verwerthung der Wärme zur Arbeitsleistung müssen wir uns nun zur Vervollständigung der Uebersicht über die natürlichen Arbeitsvorräthe noch näher bekannt machen mit den natürlichen Quellen der Wärme.

Ich habe schon von der wichtigsten Wärmequelle gesprochen, von der Verbrennung. Die Verbrennung ist ein chemischer Prozeß und als solcher nur ein Komplex von Fällen aus einer ungemein ausgedehnten Klasse von Naturerscheinungen. Bei allen chemischen Prozessen nämlich treten gleichzeitig Wärmeerscheinungen auf, in der Weise, daß bei chemischen Verbindungen einfacher Körper Wärme erzeugt, also von den sich verbindenden Körpern abgegeben wird, bei chemischen Zersetzungen in die Elemente dagegen Wärme gebunden, d. h. der Umgebung entzogen wird. Diese einfache Gesetzmäßigkeit ist weiter nichts als eine Folge von dem Prinzip der Erhaltung der Arbeit. Ich habe schon früher von der Nothwendigkeit gesprochen, alle Körper als zusammengesetzt anzunehmen aus kleinsten Theilchen, sogenannten Atomen, welche unter sich durch Kräfte zusammengehalten werden. Solche Kräfte sind nicht nur vorhanden zwischen je 2 Theilchen desselben Körpers, also z. B. zwischen je 2 Eisentheilchen, sondern auch zwischen den Theilchen verschiedener Körper, also z. B. zwischen einem Atom Eisen und einem Atom Schwefel. Wenn daher Eisentheilchen und Schwefeltheilchen in sehr innige Berührung gebracht werden, so werden die zwischen verschiedenartigen herrschenden Kräfte auch thätig und führen zu einer Näherung, zu einer innigen Verbindung zwischen Eisen und Schwefel, zur Bildung eines neuen Körpers, den man Schwefeleisen nennt. Derselbe zeigt weder die Eigenschaften des Eisens noch die des Schwefels und mit dem stärksten Mikroskop sind an ihm nicht mehr die Bestandtheile zu unterscheiden, aus denen er gebildet ist. Man nennt diese Klasse von Kräften, welche ebenfalls nur in unmeßbar kleinen Entfernungen, aber zwischen den Theilchen verschiedener Körper wirken und deren Intensität sehr verschieden bei der Kombination anderer Körper

ausfällt, chemische Verwandschaftkräfte, oder chemische Spannkräfte.

Der Akt der chemischen Verbindung besteht also darin, daß je 2 heterogene Theilchen, welche so nahe gebracht sind, daß sie auf einander wirken können, sich unter dem Einflusse der chemischen Anziehung mit beschleunigter Geschwindigkeit einander nähern, auf einander losstürzen; ganz in derselben Weise, wie z. B. eine in den Anziehungsbereich der Erde tretende Sternschnuppe auf diese niederstürzt. Bei diesem Aufeinanderlosstürzen der Atome wird aber ein bedeutender Arbeitsvorrath in Gestalt der ungeheuer wachsenden Geschwindigkeit angesammelt. Bei dem Meteorstein zeigt sich der gesammelte Vorrath wirksam, indem der Stein tief in die Erde hineinschlägt, der Vorrath sich also umsetzt in Arbeit gegen die elastischen Kräfte des Erdreichs und in Wärme, die durch die Zusammendrückung erzeugt wird. Bei dem Aufeinanderstürzen zweier Atome kann man sich den Vorgang ungefähr so denken, wie wenn die Atome 2 elastische Kugeln wären, die sich treffen; es prallen beide von einander ab, gehen auseinander bis zu einer gewissen Entfernung, werden durch die chemische Anziehung abermals zusammengeführt, prallen wieder ab u. s. w., sie gerathen also in eine fortdauernde hin- und hergehende, vibrirende Bewegung, die man nicht mit dem Auge, wohl aber mit dem Gefühl, als Wärme wahrnehmen kann. Die Annahme der Verbindung zweier einzelnen Atome findet sich nie verwirklicht, es sind immer große Atomzahlen, die sich verbinden. Es wird also dann jedes Atom des einen Körpers von allen umliegenden Atomen des anderen angezogen und die Bewegungsrichtung, die es unter deren Einwirkung annimmt, wird nur in den seltensten Fällen gerade genau auf ein anderes Atom stoßen; denn man hat alle Ursache anzunehmen, daß der zwischen den Atomen befindliche freie Raum verhältniß-

mäßig groß gegen den von den Theilchen selbst erfüllten ist. Denken wir uns z. B. das betrachtete Atom angezogen von 4 Atomen des anderen Körpers, die in den Eckpunkten eines kleinen Quadrates stehen, über dessen Mitte sich das erstere befindet. Alsdann wird dieses von allen 4 gleich stark beeinflußt und folglich zu keinem von ihnen hinfliegen, sondern in die Mitte des Quadrates hineinstürzen; da es hier aber keinen Widerstand findet, so geht es mit der gewonnenen Geschwindigkeit weiter und entfernt sich auf der anderen Seite wieder aus der Ebene des Quadrats so lange, bis die mit der Entfernung bekanntlich wachsenden Kohäsionskräfte es wieder zurückziehen, worauf sich der ganze Vorgang in umgekehrter Richtung wiederholt. Es entsteht also eine pendelnde, vibrirende Bewegung, wobei das Theilchen beständig durch die Mitte des von jenen gebildeten Quadrats hin- und herfliegt; wir haben also wieder eine unsichtbare, aber als Wärme erkennbare Bewegung. Ich habe hier die Vorstellung zu erleichtern gesucht durch Zugrundelegung zweier besonders einfacher Fälle. In der Wirklichkeit kombiniren sich die Fälle zu ungeheurer Mannichfaltigkeit, es tritt eine turbulente, allgemeine Bewegung der Atome ein, deren durchgehende Regelmäßigkeit nur darin besteht, daß alle diese Bewegungen hin- und hergehende, schwingende sind, die man mit dem Auge nicht sehen, wohl aber fühlen kann. In der gewöhnlichen Sprache ausgedrückt heißt das: Bei jeder chemischen Verbindung entsteht Wärme, erhitzen sich die sich verbindenden Körper.

Die Heftigkeit der Bewegung, also die Menge der entstehenden Wärme hängt ab von der Stärke der anziehenden Kräfte, die zwischen den Atomen der verschiedenen Körper wirken, also von dem Grade der chemischen Verwandtschaft und von der Art des entstehenden Verbindungsprodukts. Wir bezeichnen einen solchen Verbindungsvorgang im gewöhnlichen Sprachgebrauch

durch das Wort Brennen, wenn die auftretende Wärme so groß ist, daß die entstehenden gasförmigen Verbrennungsprodukte zum Glühen erhitzt werden, also eine Flamme geben. Diejenigen Körper, welche sich mit dem Sauerstoff der Luft unter solchen Erscheinungen verbinden lassen, nennt man, wenn sie sich in genügenden Quantitäten verschaffen und mit Vortheil zur Wärmeentwickelung verwerthen lassen, Brennmaterialien. Körper, welche diese Bedingungen erfüllen, sind nun vorzugsweise der Kohlenstoff und die ihn in großen Mengen enthaltenden Gebilde der organischen Natur, namentlich der Pflanzenwelt. Die Arbeitsvorräthe der Brennmaterialien liegen demnach in ihrer chemischen Verwandtschaft zum Sauerstoff der Atmosphäre, sie sind darin, wie man sich wissenschaftlich ausdrückt, in Gestalt von chemischen Spannkräften enthalten.

Von dem gewonnenen chemischen Standpunkt aus muß man auch die letzte Klasse von Arbeitsvorräthen auffassen, deren Betrachtung erübrigt, die in thierischen Organismen, in deren Muskelkraft enthaltenen.

Der Thierkörper hat manche Aehnlichkeit mit einer Dampf- oder kalorischen Maschine. Sein Brennmaterial bilden die Nahrungsmittel, welche hauptsächlich aus dem Pflanzen- und Thierreich stammen und Kohlenstoff als Hauptbestandtheil, daneben Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff enthalten.

Der Verdauungsprozeß ist eine langsame Verbrennung, eine innigere Verbindung des Sauerstoffs mit den 3 anderen Elementarbestandtheilen der Nahrungsmittel. Die Respiration führt dem Körper den hierzu nöthigen Ueberschuß an Sauerstoff zu und nimmt dagegen einen großen Theil der als Verbrennungsprodukte gebildeten Kohlensäure und Wasserdampf aus dem Körper weg. Das Resultat dieser Verbrennung ist die thierische Wärme und die geleistete Muskelarbeit. Von der letzteren wird

ein Theil fortdauernd und unwillkürlich verrichtet, wie die Athmungsbewegung des Brustkastens und die regelmäßige Zusammenziehung des Herzens. Daneben aber kann der thierische Körper noch weitere äußere Arbeit leisten bis zu ziemlich bedeutendem Betrage und ist im gewöhnlichen Zustande jeden Augenblick dazu befähigt. Die oberflächlichste Beobachtung zeigt, daß durch die Arbeit sowohl die Respiration, als auch das Nahrungsbedürfniß erhöht wird. Ein wohlgenährter Arbeiter leistet mehr, als ein darbender, und Jedem ist durch eigene Erfahrung bekannt, daß starke Arbeit außer Athem bringt. Wir sehen also auch hier eine Beziehung, wie sie durch den Satz von der Erhaltung der Arbeit bedingt wird.

Auf welchem Wege die Umsetzung der in den Nahrungsmitteln enthaltenen chemischen Spannkräfte in mechanische Arbeit stattfindet, ist noch ziemlich dunkel. Die Funktionen der eigentlich dazu bestimmten Arbeitsmaschine, des Muskels, kennt man bis jetzt nur erst äußerlich. Wahrscheinlich ist, daß elektrische Erscheinungen einen hervorragenden Antheil an dem Zustandekommen der Muskelarbeit haben.

Ueberblicken wir im Ganzen das Resultat der Benutzung der natürlichen Arbeitsvorräthe, so sehen wir als durchgehende Erscheinung, daß bei jeder Umsetzung eine gewisse Menge von Arbeitsvorrath in Wärme umgesetzt wird und demnach als mechanische Arbeit verloren geht; daß dagegen die Wärme nur zu einem Bruchtheil wieder in mechanische Arbeit zurückverwandelt werden kann. Daraus folgt, daß die vorhandenen Arbeitsvorräthe nach und nach alle aufgebraucht, resp. in Wärme umgesetzt werden müssen. Zum Glück sind wir aber mit diesen Vorräthen nicht auf die Erde allein angewiesen, sondern besitzen eine außerirdische Quelle von Arbeitsvorräthen, welche man menschlicher Zeitrechnung gegenüber unerschöpflich nennen kann,

nämlich die Sonne. Die Sonne schickt durch ihre Ausstrahlung eine ungeheure Quantität Wärme auf die Erde und wenn hiervon auch nur ein Bruchtheil in mechanische Arbeit umgesetzt wird, so ist dieser Bruchtheil doch schon groß genug, um für die menschlichen Bedürfnisse mehr als ausreichend zu sein. Es sind vor Allem die Pflanzen, welche unter dem Einfluß der Sonnenwärme die Kohlensäure, also das hauptsächlichste der durch das Thierreich und die Industrie erzeugten Verbrennungsprodukte, wieder in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegen, den Kohlenstoff zu dem Aufbau des eigenen Organismus verwerthen und den Sauerstoff der Atmosphäre zurückgeben. Auf diese Weise ergänzen sie einerseits den zu jeder Verbrennung nöthigen Sauerstoffvorrath und speichern andererseits in ihrem Holz u. s. w. neues Brennmaterial auf. Dem heutigen Menschengeschlecht stehen aber nicht nur diese jetzt immer nachwachsenden Vorräthe zu Gebot, sondern auch die in vergangenen Jahrtausenden erzeugten Vegetationen, die beim Mangel an Konsum sich in ungeheuren Massen angehäuft haben und der Jetztwelt in umgewandelter Form, als Stein- und Braunkohlen, sowie als Erdöl, zu Gute kommen

Aber auch wenn die fossilen Brennmaterialien erschöpft sein würden, und wenn die jährliche Produktion der Erde an Holz nicht mehr für den Bedarf des Menschen ausreichen würde, so sorgt die Sonne doch noch immer für stets sich erneuernde Arbeitsvorräthe; denn sie ist es, welche das Wasser emporpumpt, das unsere Flüsse und Gefälle speist. Sie unterhält den beständigen Kreislauf des Wassers, indem sie aus den tropischen Oceanen ungeheure Wassermassen verdunstet, den Dampf mit der erwärmten Luft emporführt und dadurch den Zufluß der kalten Luftmassen von den Polen her erzeugt. Die erwärmte und mit Wasserdämpfen geschwängerte Luft muß in den höheren Schichten der Atmosphäre nach den Polen hin abfließen und

kann, wenn sie in kältere Gegenden gelangt und sich mit kälteren Luftströmungen vermischt, das Wässer nicht in Dampfform behalten, sondern läßt es in tropfbar flüssiger Form, als Thau und Regen, oder in fester, als Schnee und Hagel, fallen, um unsere Quellen und Flüsse zu speisen.

Auf diese Art ist in letzter Instanz die Sonne die Erzeugerin und Spenderin aller irdischen Arbeitsvorräthe.

Eine Ahnung von den tief in das menschliche Dasein eingreifenden Wirkungen dieses Gestirns spricht sich in dem Sonnenkultus aus, dem unter verschiedenen Formen zu allen Zeiten zahlreiche Völkerschaften angehängt haben. Volle Einsicht zu gewinnen in den Umfang und Zusammenhang dieser Wirkungen ist erst einer sehr neuen Zeit vorbehalten gewesen.

Druck von Gebr. Unger (Th. Grimm) in Berlin, Friedrichsstr. 24.